

Micromixer**BEST AVAILABLE COPY**

Patent number: DE19961257
Publication date: 2001-07-05
Inventor: EHRFELD WOLFGANG (DE); HESSEL VOLKER (DE)
Applicant: INST MIKROTECHNIK MAINZ GMBH (DE)
Classification:
- international: **B01F5/06; B01F13/00; B01J19/00; B01F5/06; B01F13/00; B01J19/00; (IPC1-7): B01F5/02**
- european: **B01F5/06B2B; B01F13/00M; B01J19/00R**
Application number: DE19991061257 19991218
Priority number(s): DE19991061257 19991218

Also published as:

WO0143857 (A1)

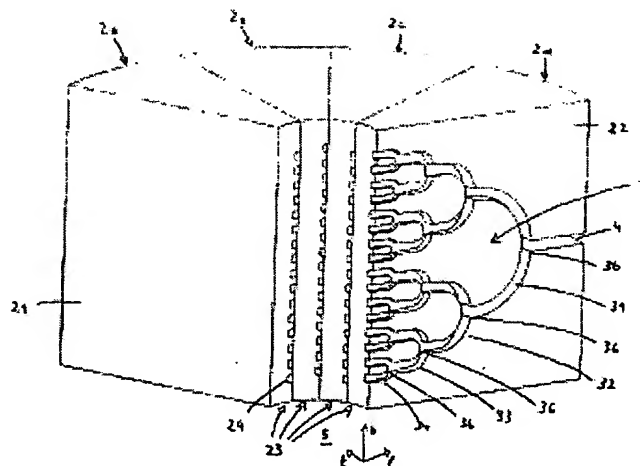
US2003039169 (A1)

EP1242171 (B1)

Report a data error here

Abstract of DE19961257

Micromixers constitute a main component of microreactors that have three-dimensional microstructures in a fixed matrix, in which chemical reactions take place. In said micromixer, fluids from their respective supply chambers are divided into spatially separate fluid streams using a network of microchannels allocated to the respective streams. Said streams then emerge as jets with identical volumetric flows for each fluid into a mixing chamber. The invention aims to ensure that identical volumetric flows are achieved for each fluid at the respective microchannel outflow and to produce a micromixer with a simple, compact construction. Wedge-shaped plates can be used as the supply elements (2a-d). Said plates can be assembled to form at least one ring sector which surrounds the mixing chamber (5) in the form of a curve. Alternatively, planar plates can be used which comprise a cavity in their central region, into which the microchannels (31-34) emerge, in such a way that the stacked plates form the mixing chamber (5). The microchannels (31-34) provided for each fluid form one or more symmetrical bifurcation cascades (3) comprising at least two stages. The micromixer can be used in microreactors, for example in the field of combined chemistry, for creating emulsion and gaseous/liquid dispersions and for gas-phase catalysis.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**
⑩ **DE 199 61 257 C 2**

⑤1 Int. Cl.⁷:
B 01 F 5/02

②1 Aktenzeichen: 199 61 257.9-23
②2 Anmeldetag: 18. 12. 1999
④3 Offenlegungstag: 5. 7. 2001
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 19. 12. 2002

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 **Patentinhaber:**

Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH, 55129 Mainz,
DE

⑦4 **Vertreter:**

Fuchs, Mehler, Weiß & Fritzsche, 65189 Wiesbaden

⑦2 **Erfinder:**

Ehrfeld, Wolfgang, 55124 Mainz, DE; Hessel, Volker,
65510 Hünstetten, DE

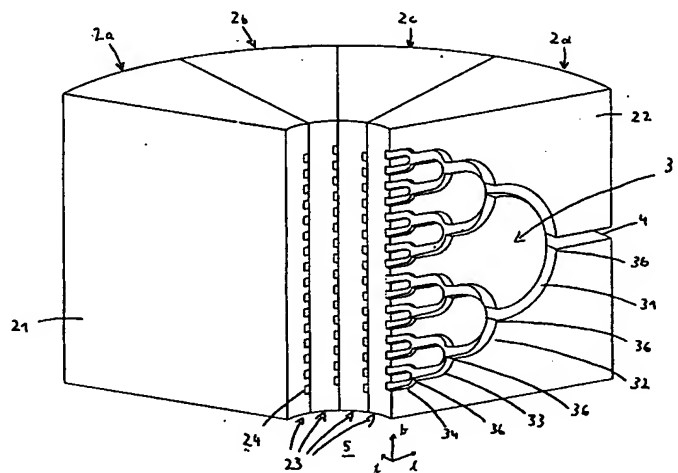
⑤6 **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:**

DE 195 40 292 C1
DE 35 46 091 C2
DE 37 09 278 A1
US 58 87 977 A
WO 95 30 476 A1

Schmidt, K. u.a.: A Microflow Reactor for two
Dimensional Investigations of In Vitro Amplifi-
cation-Systems. In: Proceedings of the First In-
ternational Conference on Microreaction Techno-
logie. Ed.: W. Ehrfeld. Springer 1998;
Jäckel, K.-P., Wörz, O.: Winzlinge mit großer
Zukunft, Mikroreaktoren für die Chemie, in:
Chemietechnik-Technik 26, Jg. 1997, Nr. 1,
S. 131-134;

⑤4 **Mikrovermischer**

⑤7 Statischer Mikrovermischer mit Zuführkammern für
mindestens zwei zu vermischende Fluide, von denen Mi-
krokanäle zu einer Mischkammer führen, wobei die Mi-
krokanäle in mindestens zwei aneinanderliegenden Zu-
führelementen angeordnet sind, dadurch gekennzeich-
net,
daß die Zuführelemente (2) keilförmige Platten sind, die
mindestens zu einem Ringsektor zusammensetzbar sind,
der die Mischkammer (5) bogenförmig umgibt, und
daß die für jedes Fluid vorgesehenen Mikrokanäle (30)
eine symmetrische mindestens zwei Stufen i (i = 1 bis n,
mit $n \geq 2$) umfassende Bifurkationskaskade bilden.



DE 199 61 257 C 2

DE 199 61 257 C 2

[0001] Die Erfindung betrifft einen statischen Mikrovermischer gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Die Erfindung betrifft auch einen statischen Mikrovermischer gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 15.

[0002] Mikrovermischer bilden eine Hauptkomponente sogenannter Mikroreaktoren, die über dreidimensionale Mikrostrukturen in fester Matrix verfügen, in denen chemische Umsetzungen durchgeführt werden. Wachsende Bedeutung

[0003] Im Mikrovermischer werden typischerweise mindestens zwei Fluide aus ihren jeweiligen Zuführkammern durch eine jeweils zugeordnete Schar von Mikrokanälen in räumlich getrennte Fluidströme aufgeteilt, die dann als Fluidstrahlen mit für das jeweilige Fluid gleichen Volumenströmen in eine Misch- oder Reaktionskammer austreten. Jeder Fluidstrahl wird benachbart zu einem Strahl eines anderen Fluids in die Misch- und Reaktionskammer geführt, in der durch Diffusion und/oder Turbulenz die Vermischung stattfindet. Hierbei kommt es darauf an, daß durch die Mikrokanäle identische Volumenströme je eines Fluids in die Misch- oder Reaktionskammer eingeleitet werden, weil andernfalls in der Misch- oder Reaktionskammer räumlich unterschiedliche Mischverhältnisse herrschen würden, die das Misch- oder Reaktionsergebnis verfälschen. Da die Volumenströme durch Druckverluste in den Mikrokanälen beeinflusst werden, müssen die Mikrokanalsysteme derart ausgestaltet werden, daß alle Mikrokanalzweige einen gleichen – und idealerweise niedrigen Druckverlust aufweisen.

[0004] Aus der WO 95/30476 A1 ist ein statischer Mikrovermischer bekannt, der eine Mischkammer und ein Führungsbauteil für die getrennte Zufuhr der zu mischenden Stoffe vorsieht. Das Führungsbauteil besteht aus plattenartigen Elementen in Form von dünnen Folien mit jeweils einer Schar paralleler, geradliniger Nuten, wobei diese plattenartigen Elemente übereinandergeschichtet sind. Die Nuten der übereinanderliegenden Folien weisen eine zur Mikrovermischer-Längsachse abwechselnde Schräge auf, so daß die an die Mischkammer angrenzenden Öffnungen der Kanäle fluchtend übereinanderliegen und an der Fluideintrittsseite hin zu getrennten Eintrittskammern divergieren. Die Kanäle des Führungsbauteils weisen jeweils die gleiche Länge und damit den gleichen Strömungswiderstand auf. Da die Fluide aber aufgrund der schrägen Anordnung der Mikrokanäle zu unterschiedlichen Seiten gerichtet in die Mischkammer einströmen, ist die Mischungseffektivität an den Randzonen aufgrund des Wandreibungseinflusses der Mischkammer geringer als im Zentrum.

[0005] Die DE 37 09 278 A1 offenbart ein Verfahren zur Herstellung von Feinstrukturkörpern, die aus Folien aufgebaut sind. Indem Folien mit halbkreisförmigen Nuten jeweils spiegelbildlich gestapelt werden, werden Feinstrukturkörper mit runden Kanälen erhalten. Die strukturierten Folien können auch derart gestapelt werden, daß eine Nut von einer unbearbeiteten Fläche der angrenzenden Folie zu einem Kanal geschlossen wird.

[0006] In der US 5,887,977 A wird ein Mikrovermischer, z. B. für die HPLC-Chromatographie offenbart. In einem Gehäuse mit Fluidzuführungen und einer Fluidabführung sind eine Vielzahl von kreisrunden Platten gestapelt. Diese Platten weisen Durchbrechungen auf, die durch die Stapelung Kanäle und Mischkammern bilden. Dabei sind die Durchbrechungen derart ausgebildet, daß die Fluidströme eine Rotationswinkelgeschwindigkeit bekommen. Die Vermischung erfolgt durch mehrfaches Zusammenführen und

Teilen der Fluide.

[0007] Zur Erhöhung der örtlichen Effektivität der Vermischung wird in der DE 195 40 292 C1 vorgeschlagen, daß die jeweiligen Scharen von Nuten in den übereinandergeschichteten Folien jeweils bogenförmig gekrümmt und abwechselnd von der Mischkammer zu je einer der beiden Zuführkammern verlaufen, so daß alle Nuten parallel zueinander ausgerichtet in die Mischkammer münden. Zur Erzielung gleicher Strömungswiderstände wird angegeben, die Seiten des Führungsbauteils, die an die Zuführkammern grenzen, gegenüber der an die Mischkammer grenzende Seite so zu neigen, daß die Kanäle eine annähernd gleiche Länge aufweisen. Zur Vermeidung gekrümmter Eintrittsflächen wird angegeben, die Flächen entsprechend einer nach einer angegebenen Formel zu bestimmenden Näherungsgerade auszurichten. Diese erlaubt jedoch nur kleine Bogenwinkel der Nuten, so daß eine Anordnung der Zuführkammern an zwei sich gegenüberliegenden Seiten des Führungsbauteils oder eine getrennte Zufuhr von mehr als zwei Fluiden kaum realisierbar ist.

[0008] Die bekannten Mikrokanalsysteme haben den Nachteil, daß spezielle Zuführkammern erforderlich sind und daß alle von den jeweiligen Zuführkammern abgehenden Mikrokanäle gleichmäßig mit dem jeweiligen Fluid versorgt werden müssen, d. h., daß eine Homogenisierung des Strahldrucks der einströmenden Fluide erforderlich ist. Hierzu sind ausgedehnte Zuführkammern vorzusehen, was zu Platzproblemen führen kann und die Fluidverweilzeit erhöht. Trotz dieser Zuführkammern ist eine Homogenisierung des Strahldrucks nur über einen begrenzten Druckbereich und somit Volumenstrombereich gewährleistet.

[0009] In der DE 35 46 091 C2 wird ein Querstrommikrofilter beschrieben, dem ein Zuströmverteiler und ein Konzentratsammler vor- bzw. nachgeschaltet ist. Ein solcher Zuströmverteiler kann in Form einer Bifurkationsstruktur aufgebaut sein, wobei eine der Anzahl der Bifurkationskaskaden entsprechende Anzahl von gekrümmten Trennwänden zur Bildung der Bifurkationsstruktur erforderlich ist.

[0010] In "A Microflow Reactor for two Dimensional Investigations of In Vitro-Amplification-Systems" in Microreaction Technology; proceedings of the first international conference on microreaction technology (Editor: W. Ehrfeld), Springer 1998, wird ein Mikroreaktor vorgestellt, der in einer Zuführschicht eine Sammelkammer aufweist, in die gegenüberliegend zwei Bifurkationskaskaden einmünden, durch die ein Fluid eingeleitet wird. Von dort aus gelangt das Fluid über eine Druckbarriere in eine Reaktionskammer.

[0011] In Jäckel, K.-P., Wörz, O.: "Winzlinge mit großer Zukunft, Mikroreaktoren für die Chemie" in: Chemie-Technik 26, Jg. 1997, Nr. 1, S. 131–134 werden Mikroreaktoren für die Chemie beschrieben, die für die Zufuhr der Reaktanten mehrere übereinanderliegende Platten mit Nutenstruktur aufweisen. Hinter dem Reaktions- und Mischbereich ist nach Durchlaufen einer Wärmetauscherstrecke eine Bifurkationskaskade für den Zusammenfluß der einzelnen Ströme vorgesehen.

[0012] Aufgabe der Erfindung ist es, einen Mikrovermischer mit Mikrokanälen zu schaffen, an deren Ausgang je Fluid identische Volumenströme vorliegen, wobei sich der Mikrovermischer durch eine einfache und kompakte Bauweise auszeichnen soll.

[0013] Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Zuführelemente keilförmige Platten sind, die mindestens zu einem Ringsektor zusammensetzbar sind, der die Mischkammer bogenförmig umgibt, und daß die für jedes Fluid vorgesehenen Mikrokanäle eine symmetrische mindestens zwei Stufen i ($i = 1$ bis n , mit $n \geq 2$) umfassende Bifurkationskaskade bilden.

[0014] Diese Aufgabe wird außerdem dadurch gelöst, daß die Zuführelemente im mittleren Bereich eine kreisförmige Durchbrechung aufweisen, so daß die übereinander gestapelten Platten eine zylindrische Mischkammer bilden, und daß die für jedes Fluid vorgesehenen Mikrokanäle eine oder mehrere symmetrische, mindestens zwei Stufen i ($i = 1$ bis n , mit $n \geq 2$) umfassende Bifurkationskaskaden bilden.

[0015] Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0016] Die sukzessive Aufteilung eines Fluidstroms in zwei gleiche Teilströme, die ihrerseits in $2 + 2 = 4$ gleiche Teilströme aufgeteilt und stufenweise entsprechend weiter aufgeteilt werden, hat zur Folge, daß alle Ströme eines Fluids den gleichen Bedingungen unterworfen sind und somit auch je Fluid identische Volumenströme in die Misch- oder Reaktionskammer austreten. Das Aufteilen in Teilströme, die alle möglichst gleichen Bedingungen unterworfen sind, gelingt über das Verringern der Querschnitte der Mikrokanäle von Stufe zu Stufe. Das Verringern der Querschnitte kann je nach Flächenform über die Reduzierung der Breite und/oder Tiefe erfolgen oder bei runden Querschnitten über die Reduzierung des Radius. Gerade bei keilförmigen Platten als Zuführelementen bietet es sich an, die Tiefe zu variieren, da auf diese Weise das als Zuführelement zur Verfügung stehende Volumen gut genutzt wird. Daß außerdem alle Teilströme eines Fluids aus einer Vorratskammer gespeist werden, trägt noch weiter zur Gleichartigkeit der Bedingungen bei.

[0017] Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß jede Bifurkationskaskade von einem einzigen Fluidstrom (Zuführkanal) ausgeht, der mit der Vorratskammer in Verbindung steht, so daß keine räumlich ausgedehnten Zuführkammern notwendig sind. Die Zuführkanäle können weitaus besser an die jeweiligen örtlichen Bedingungen angepaßt werden, so daß ein kompakter Mikrovermischer realisiert werden kann.

[0018] Vorratskammern können außerhalb des Mikrovermischemers an beliebiger Stelle und in beliebiger Anzahl angeordnet werden, so daß auch das Mischen von mehr als zwei Fluiden durchgeführt werden kann.

[0019] Zur kompakten Bauweise tragen auch die als keilförmige Platten ausgebildeten Zuführelemente bei, die zu einem Ringsektor oder gar zu einem geschlossenen Ring zusammengesetzt werden können. Da die Tiefe der Mikrokanäle in Richtung Mischkammer abnimmt, kann die Keilform optimal genutzt werden. Die Mikrokanäle mit großer Kanaltiefe bzw. Querschnittsfläche sind im dickeren Bereich der keilförmigen Platten und die Mikrokanäle mit geringer Kanaltiefe bzw. Querschnittsfläche sind im dünneren Bereich der Platten angeordnet. Dadurch können bei komplexer Bauweise die Austrittsöffnungen der Mikrokanäle der letzten Bifurkationsstufe dicht nebeneinander gelegt werden. Die Mischkammer kann rotationssymmetrisch, vorzugsweise zylinderförmig ausgebildet werden, was die Vermischung der in die Mischkammer eingeleiteten Fluide fördert.

[0020] Solche Mischkammern zylindrischer Form sind den aus den oben zitierten Schriften bisher bekannten Mischkammern darin überlegen, daß das Verhältnis von aktiver zu inaktiver Fläche größer ist und somit der Gesamtdurchsatz und die Mischeffektivität besser ist. Dabei ist mit aktiver Fläche die Fläche gemeint, aus der Fluidströme austreten, und mit inaktiver Fläche die Fläche, aus der keine Fluidströme austreten. Bei den herkömmlichen, rechteckigen Mischkammern wird nämlich eine von sechs Seiten zur Zufuhr von Fluiden genutzt, während bei der zylindrischen Mischkammer die gesamte Mantelfläche genutzt werden kann.

[0021] Durch den gleichzeitigen Einsatz von Bifurkati-

onskaskaden als Fluidführungsstruktur und keilförmigen Platten als Zuführelemente ergibt sich ein Mikrovermischer für die Durchführung von Reaktionen, deren Selektivität und Reproduzierbarkeit sensitiv von der Mischgüte abhängen.

[0022] Der Druckverlust innerhalb der Mikrokanäle i -ter Stufe ($i = 1$ bis n , $n \geq 2$) kann weiter minimiert werden, indem man die geometrischen Abmessungen der Mikrokanäle unterschiedlicher Stufe relativ zueinander verändert. Man kann die Länge der Mikrokanäle zur Mischkammer hin verkürzen ($L_{i+1} < L_i$ mit L_i = Länge der Mikrokanäle der i -ten Stufe), wobei sich als vorteilhaft erwiesen hat, die Längen derart zu wählen, daß das Verhältnis der Längen zweier aufeinanderfolgenden Stufen konstant ist. Solche Bifurkationskaskaden werden als selbstähnlich bezeichnet.

[0023] Besonders in Fällen, in denen die Anzahl n der Stufen größer oder gleich 3 ist, besteht eine bevorzugte Ausführungsform darin, die Abmessungen der Mikrokanäle nur bis zur vorletzten Stufe von Stufe zu Stufe zu reduzieren. Die Bifurkationskaskade kann dabei bis zur vorletzten Stufe selbstähnlich sein.

[0024] Vorzugsweise weist mindestens eine keilförmige Platte auf mindestens einer Keilfläche Mikrokanäle bildende Nuten auf. Der Mikrovermischer kann aus mehreren identischen keilförmigen Platten zusammengesetzt werden, so daß die Herstellungskosten gesenkt werden können.

[0025] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die keilförmige Platte auf beiden Keilflächen jeweils eine Bifurkationskaskade auf, wobei die an der Stirnseite der keilförmigen Platte mündenden Mikrokanäle der letzten Bifurkationsstufe möglichst in Umfangsrichtung der Mischkammer versetzt zueinander angeordnet sind, um den Abstand zu minimieren.

[0026] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführung hat die keilförmige Platte auf beiden Keilflächen Nuten, die einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle aufweisen. Dabei ergänzen die in den aufeinanderliegenden Flächen befindlichen Nuten zweier nebeneinander liegender Zuführelementen sich zum Vollquerschnitt der Mikrokanäle. Auch in dieser Ausführung kann der Mikrovermischer aus mehreren identischen keilförmigen Platten zusammengesetzt werden, was zur Senkung der Herstellungskosten führt. Auf diese Weise lassen sich ansonsten schwierig herzustellende, strömungsgünstige Rundquerschnitte erzeugen.

[0027] In einer weiteren Ausführungsform sind die Mikrokanäle derart gestaltet, daß die Breite und/oder Tiefe sowie ggf. auch die Länge der n -ten Stufe, d. h. der letzten Stufe vor dem Einmünden in die Mischkammer, größer ist als in der Stufe davor (Stufe $n - 1$), d. h. vorletzten Stufe. Dadurch erreicht man ein höheres Verhältnis von aktiver zu inaktiver Fläche bezogen auf die Mantelfläche der Mischkammer, was zur besseren Vermischung der Fluide beiträgt. Grundsätzlich können die Nuten in den einzelnen Zuführelementen zueinander versetzt angeordnet werden und zwar derart, daß, wenn zwei Fluide A, B alternierend auf die einzelnen Zuführelemente verteilt wären, ein Teilstrom des Fluides B beim Austritt in die Mischkammer von vier Teilströmen des Fluides A umgeben ist und umgekehrt. Vergrößert man nun auf der n -ten Stufe verglichen mit Stufe $n - 1$ den Querschnitt der Mikrokanäle, insbesondere Breite und/oder Tiefe der Mikrokanäle, kann erreicht werden, daß die Austrittsflächen der Fluide in axialer oder Umfangsrichtung der Mischkammer überlappen. Dies erhöht bei hinreichend kleinem Abstand der Austrittsflächen zueinander die Vermischungskontaktfläche und damit auch die Vermischungseffektivität.

[0028] Vorzugsweise sind die Bifurkationskaskaden für jedes Fluid an einem gemeinsamen Zuführungskanal ange-

schlossen. Dies hilft, die Gleichartigkeit der äußeren Bedingungen für die Fluidströme eines Fluides zu gewährleisten und erhöht so die Reproduzierbarkeit der Mischung.

[0029] Um den Mikrovermischer möglichst kompakt bauen zu können, sind in einer bevorzugten Ausführung die gemeinsamen Zuführkanäle in Form von Bohrungen in die Zuführelemente integriert oder als Nuten in das die Zuführelemente umgebende Gehäuse eingebracht.

[0030] Die Ausführung der Zuführelemente als plane Platten mit einer Durchbrechung in ihrer Mitte, in die die Mikrokanäle münden, so daß die übereinandergestapelten Platten zusammen das Kernstück des Mikrovermischers ergeben, wobei die übereinanderliegenden Durchbrechungen die Mischkammer bilden, erlauben die Herstellung eines besonders kompakten, stabilen, einfach und kostengünstig zu produzierenden Mikrovermischers. Zu den Vorteilen der Bifurkation der Mikrokanäle wird auf die vorhergehenden Ausführungen verwiesen.

[0031] Besonders bevorzugt werden kreisringförmige Platten als Zuführelemente. Durch sie erhält man Mischkammern zylindrischer Form, die den Vorteil aufweisen, daß das Verhältnis von aktiver zu inaktiver Fläche größer ist und somit der Gesamtdurchsatz und die Mischeffektivität besser sind.

[0032] Der Druckverlust innerhalb der Mikrokanäle i -ter Stufe ($i = 1$ bis n , $n \geq 2$) wird minimiert, indem die Länge der Mikrokanäle zur Mischkammer hin verkürzt wird ($L_{i+1} < L_i$ mit L_i = Länge der Mikrokanäle der i -ten Stufe). Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Längen derart zu wählen, daß das Verhältnis der Längen zweier aufeinanderfolgenden Stufen konstant ist. Solche Bifurkationskaskaden werden als selbstähnlich bezeichnet.

[0033] Wie auch bei den keilförmigen Platten werden die Mikrokanäle vorzugsweise aus in den Platten ausgebildeten Nuten gebildet. Vorteilhafterweise sind die Mikrokanäle der einen und der anderen Seite zueinander versetzt angeordnet. Dies reduziert die Abstände und erhöht dadurch die Mischeffektivität.

[0034] In einer weiteren Ausführungsform weisen die Nuten jedes Zuführelementes einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle auf, wobei die in den aufeinanderliegenden Flächen befindlichen Nuten sich zum Vollquerschnitt der Mikrokanäle ergänzen. Durch diese und die vorhergehenden Maßnahmen können die Herstellungskosten gesenkt werden, da der Mikrovermischer aus mehreren identischen planar Platten zusammengesetzt werden kann.

[0035] Um den Mikrovermischer noch kompakter bauen zu können, sind in einer bevorzugten Ausführungsform die Zuführkanäle für die einzelnen Bifurkationskaskaden in Form von Durchbrechungen in die Zuführelemente integriert. Dabei muß beachtet werden, daß in jeder planar Platte auch für die Zuführkanäle Durchbrechungen vorgesehen sein sollten, an denen in dieser speziellen Platte keine Bifurkationskaskade angeschlossen ist. Der Mikrovermischer kann aus identischen Zuführelementen aufgebaut werden, die gegeneinander derart verdreht sind, daß nicht nur eine durchgehende Mischkammer, sondern auch für jedes Fluid durchgehende Zuführkanäle gebildet werden.

[0036] Beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert:

[0037] Es zeigen:

[0038] Fig. 1a eine perspektivische Darstellung von Zuführelementen mit auf einer Seite Mikrokanäle bildenden Nuten;

[0039] Fig. 1b eine perspektivische Darstellung von Zuführelementen mit auf beiden Seiten Mikrokanäle bildenden Nuten;

[0040] Fig. 1c eine weitere perspektivische Darstellung von Zuführelementen mit auf beiden Seiten Mikrokanäle bildenden Nuten;

[0041] Fig. 2a eine perspektivische Darstellung von in ein Gehäuse eingefügten Zuführelementen mit Zuführkanälen ober- und unterhalb der Zuführelemente;

[0042] Fig. 2b eine perspektivische Darstellung von in ein Gehäuse eingefügten Zuführelementen mit Zuführkanälen seitlich der Zuführelemente;

[0043] Fig. 2c eine perspektivische Darstellung von in ein Gehäuse eingefügten Zuführelementen mit Zuführkanälen, die in die Zuführelemente integriert sind;

[0044] Fig. 3a eine Draufsicht auf zwei Zuführelemente, die als plane, kreisringförmige Platten ausgebildet sind;

[0045] Fig. 3b-d unterschiedliche Nutenanordnungen in Zuführelementen, die als plane, kreisringförmige Platten ausgebildet sind.

[0046] In Fig. 1a sind mehrere zu einem Ringsektor aufgereichte Zuführelemente 2a-d perspektivisch dargestellt. Dadurch ergibt sich eine zylindrische Mischkammer 5, wobei die Mantelfläche durch die Stirnseiten 23 der Zuführelemente 2a-d gebildet werden. Diese Zuführelemente 2a-d sind keilförmige Platten, die auf jeweils einer Keilfläche 22 als Mikrokanäle 31-34 dienende Nuten 24 aufweisen. Eine glatte Keilfläche 21 deckt dabei die Mikrokanäle in der benachbarten Keilfläche 22 ab. Der Übersichtlichkeit wegen sind nur eine Nut 24 und ein Mikrokanal 31-34 exemplarisch bezeichnet.

[0047] Um die Keilform der Zuführelemente 2a-d optimal auszunutzen, sind Mikrokanäle 31-34 sowie der Zuführungskanal 4 derart ausgeführt, daß sie bei gleicher Breite unterschiedliche Tiefe vorweisen, wobei in Fig. 1a der Querschnitt rechteckig ist. Nach jeder Bifurkation 36 nimmt die Tiefe von außen nach innen zur Mischkammer 5 hin ab. Die Strömungsrichtung der Fluide ist radial von außen nach innen gerichtet. Für das Keilelement 2d ist ein Koordinatensystem mit den Richtungen 1, b und t eingezeichnet. In Richtung von 1 wird die Länge eines Mikrokanals gemessen, in Richtung von b die Breite und in Richtung von t die Tiefe eines Mikrokanals.

[0048] Die Fluidführungsstruktur 3 ist im in Fig. 1a dargestellten Beispiel als vierstufige Bifurkationskaskade ausgeführt. Aus einer Vorratskammer außerhalb der Vorrichtung fließt der Fluidstrom in den Zuführungskanal 4. Dieser gabelt sich in zwei Mikrokanäle 31 erster Stufe, so daß der Fluidstrom in zwei gleiche Teilströme aufgeteilt wird. Beide Mikrokanäle 31 erster Stufe gabeln sich in jeweils zwei Mikrokanäle 32 zweiter Stufe auf, was zur Folge hat, daß auf der zweiten Stufe der ursprüngliche Fluidstrom in vier Teilströme aufgeteilt ist. Diese symmetrische Bifurkation wird im gezeigten Beispiel bis zur vierten Stufe fortgesetzt und resultiert in der Aufteilung des Fluidstromes in 2^i -Teilströme, $i = 4$ die von den Mikrokanälen 34 vierter Stufe in die Mischkammer 5 münden und sich dort mit den Teilströmen aus den anderen Zuführelementen vermischen können.

[0049] In Fig. 1a sind die Nuten 24 in den Zuführelementen 2a-d versetzt angeordnet und zwar derart, daß, angenommen in den Zuführelementen 2a und c fließe Fluid A und in Zuführelementen 2b und d Fluid B, ein Teilstrom des Fluides B beim Austritt in die Mischkammer 5 von vier Teilströmen des Fluides A umgeben ist und umgekehrt. Dies trägt zur besseren Vermischung beider Fluide bei.

[0050] In Fig. 1b ist ein weiteres Beispiel für die Ausgestaltung der Zuführelemente 2 dargestellt. In diesem Fall sind auf beiden Teilflächen 21 und 22 Nuten 24 angebracht, die einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle 30 aufweisen. Beim Aneinanderlegen zweier Keilflächen 21 und 22 ergänzen sich zwei gegenüberliegende Nuten 24 zum Vollquer-

schnitt eines Mikrokanales 30. Weiterhin ist der Querschnitt der Mikrokanäle 30 abgerundet. Da auch in diesem Fall nach innen hin die Tiefe der Mikrokanäle 30 bei konstanter Breite abnimmt, haben die Mikrokanäle 30 unmittelbar bei der Mischkammer 5 runden Querschnitt. Auch in Fig. 1b sind wegen besserer Übersichtlichkeit nur eine Nut 24 und die Mikrokanäle 30 eines Teilstromes bezeichnet.

[0051] Fig. 1c zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Zuführelemente 2. In diesem Fall nehmen sowohl Tiefe als auch Länge der Mikrokanäle 30 von Stufe i auf Stufe i + 1 ab, aber von Stufe n - 1 auf Stufe n, d. h. der letzten Stufe vor Einmünden in die Mischkammer 5, nehmen beide Abmessungen wieder zu. Dies ist auch in der Vergrößerung des aufgeschnittenen Zuführelementes 2' dargestellt. Das Zuführelement 2' ist längs der Schnittfläche 25 derart aufgeschnitten, daß ein Mikrokanal 30 auf konstant halber Breite durchgeschnitten wird. Tiefe und Länge des Mikrokanals vierter Stufe 34 sind deutlich größer als Tiefe und Länge des Mikrokanals dritter Stufe 33. Daher ergibt sich für die Mischkammer ein höheres Verhältnis von Fluidaustrittsfläche zu Gesamtmantelfläche, was die Vermischungseffektivität steigert. Die einzelnen Nuten 24 sind wie in Fig. 1a derart zueinander angeordnet, daß ein Teilstrom eines Fluides von vier Teilstromen eines weiteren Fluides umgeben sein kann. Durch die große Tiefe der Mikrokanäle vierter Stufe 34 ergibt sich ein Überlappen der Austrittsflächen in Umfangsrichtung der Mischkammer. Dies erhöht die Vermischungskontaktfläche der in die Mischkammer 5 austretenden Fluide und damit auch die Vermischungseffektivität.

[0052] In Fig. 2a sind die Zuführelemente 2 in das Gehäuse 1 eingepaßt, wobei das Gehäuse 1 aus zwei Kreisscheiben besteht, in die Aussparungen zum Einsetzen der Zuführelemente 2 und zum Bilden der Mischkammer 5 eingearbeitet sind, Zuführkanäle 4a und b sind oberhalb und unterhalb der Zuführelemente 2 ringförmig im Gehäuse 1 umlaufend angeordnet, in einer der beiden Kreisscheiben ist ein Fluidabfuhrkanal 6 derart angeordnet, daß er zentral in die untere Stirnseite der Mischkammer 5 mündet.

[0053] Fig. 2b zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel des Gehäuses 1, bei dem sich beide Zuführkanäle 4a und b in der gleichen Kreisscheibe wie der Fluidabfuhrkanal 6 befinden und seitlich um die Zuführungselemente herum im Gehäuse 1 umlaufen.

[0054] Fig. 2c zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel für sowohl das Gehäuse 1 als auch die Zuführelemente 2. In diesem Fall befinden sich die ringförmig umlaufenden Zuführkanäle 4a und b nicht in den das Gehäuse 1 bildenden Kreisscheiben, sondern sind als Durchbohrungen in die Zuführelemente 2 integriert und laufen dort ringförmig um.

[0055] Fig. 3a zeigt zwei Zuführelemente 2, die als jeweils eine plane, kreisringförmige Platte 2a, b ausgebildet sind. Die Platte 2b weist in ihrer Mitte eine kreisförmige Durchbrechung 7 auf. Auf ihrem Umfang sind kreisförmige Durchbrechungen angeordnet, die die Zuführkanäle 4a und 4b bilden für die Fluide A und B bilden. Die Zuführkanäle 4b der Platte 2b sind an Bifurkationskaskaden 3 angeschlossen. Von jedem Zuführkanal 4b geht ein Mikrokanal erster Stufe 31 ab, der sich nach einer Bifurkation 36 in zwei Mikrokanäle zweiter Stufe 32 aufteilt, die sich jeweils ihrerseits in 2 + 2 Mikrokanäle dritter Stufe 33 aufteilen usw.. Die Längen der Mikrokanäle 31 bis 34 nehmen mit zunehmender Stufe ab. Die plane Platte 2a ist identisch mit der planen Platte 2b. Sie ist allerdings um 45° zur Platte 2b verdreht. Dadurch kommen die Zuführkanäle 4a der Platte 2a und 2b sowie die Zuführkanäle 4b der Platten 2a und 2b aufeinander zu liegen. Von den Zuführkanälen 4a gehen in der Platte 2a Bifurkationskaskaden 3 für das Fluid A ab. Durch ein Übereinanderstapeln einer Vielzahl von Platten 2a und

2b ergibt sich ein zylinderförmiger Mikromischer.

[0056] In den Fig. 3b bis 3d ist gezeigt, wie die Mikrokanäle 30a, 30b bildenden Nuten 24 in der Oberseite 26 und/oder der Unterseite 27 einer als plane Platte 2 bzw. 2a, b ausgebildeten Zuführelementes angeordnet sein können. Der Übersichtlichkeit halber sind in den Fig. 3b bis 3d die Platten 2, 2a, 2b beabstandet zueinander dargestellt. Aus Stabilitätsgründen kann aber auch erwogen werden, zwischen die Zuführelemente zusätzliche Abstandselemente einzuführen, die Durchbrechungen zur Bildung der Mischkammer und der Zuführkanäle aber keine Bifurkationskaskaden aufweisen würden.

[0057] In Fig. 3b sind sowohl in der Platte 2a als auch in der Platte 2b die Nuten auf der Oberseite 26a bzw. 26b ausgebildet. Die Nuten in der Platte 2a bilden Mikrokanäle 30a für das Fluid A und die Nuten in der Platte 2b bilden Mikrokanäle 30b für das Fluid B. Die Nuten in beiden Platten sind derart angeordnet, daß die Mikrokanäle 30a und 30b genau übereinanderliegen.

[0058] Die Nutenanordnung in Fig. 3c unterscheidet sich von der Nutenanordnung in Fig. 3b lediglich dadurch, daß die Mikrokanäle 30a und 30b zueinander versetzt angeordnet sind. Dadurch wird erreicht, daß der Mikrokanal für das eine Fluid von vier Mikrokanälen für das andere Fluid umgeben ist. Dies erhöht die Mischeffektivität.

[0059] Die Zuführelemente 2 aus Fig. 3d weisen sowohl auf ihrer Oberseite 26 als auch ihrer Unterseite 27 Nuten 24 auf. Die Nuten 24 weisen jeweils einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle 30a und 30b auf und ergänzen sich zum Vollquerschnitt der Mikrokanäle 30a, 30b in den aufeinanderliegenden Flächen 26 und 27. Daher sind die Nuten der Oberseite 26 versetzt zu den Nuten der Unterseite 27 angeordnet. Wenn die Teilquerschnitte der einen Seite für das eine Fluid und die Teilquerschnitte der anderen Seite für das andere Fluid genutzt werden, wird dadurch wieder gewährleistet, daß ein Mikrokanal 30a oder 30b für das eine Fluid von vier Mikrokanälen 30b oder 30a umgeben ist.

Bezugszeichen

- 1 Gehäuse
- 2a, b, c, d, 2' Zuführelement
- 3 Fluidführungsstruktur
- 4a, b Zuführungschanal A, B
- 5 Mischkammer
- 6 Fluidabfuhrkanal
- 7 Durchbrechung
- 21 Keilfläche
- 22 Keilfläche
- 23 Stirnseite
- 24 Nut
- 25 Schnittfläche
- 26 Oberseite
- 27 Unterseite
- 30a, b Mikrokanal A, B
- 31 Mikrokanal erster Stufe
- 32 Mikrokanal zweiter Stufe
- 33 Mikrokanal dritter Stufe
- 34 Mikrokanal vierter Stufe
- 36 Bifurkation

Patentansprüche

1. Statischer Mikrovermischer mit Zuführkammern für mindestens zwei zu vermischende Fluide, von denen Mikrokanäle zu einer Mischkammer führen, wobei die Mikrokanäle in mindestens zwei aneinanderliegenden Zuführelementen angeordnet sind, dadurch ge-

kennzeichnet,

daß die Zuführelemente (2) keilförmige Platten sind, die mindestens zu einem Ringsektor zusammensetzbar sind, der die Mischkammer (5) bogenförmig umgibt, und

daß die für jedes Fluid vorgesehenen Mikrokanäle (30) eine symmetrische mindestens zwei Stufen i ($i = 1$ bis n , mit $n \geq 2$) umfassende Bifurkationskaskade bilden.

2. Mikrovermischer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt der Mikrokanäle (30) von Stufe zu Stufe abnimmt.

3. Mikrovermischer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge der Mikrokanäle (30) von Stufe zu Stufe abnimmt.

4. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Bifurkationskaskade selbstähnlich ist.

5. Mikrovermischer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt der Mikrokanäle (30) bis zur Stufe $n - 1$ von Stufe zu Stufe abnimmt.

6. Mikrovermischer nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge der Mikrokanäle (30) bis zur Stufe $n - 1$ von Stufe zu Stufe abnimmt.

7. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine keilförmige Platte auf mindestens einer Keilfläche (21, 22) Mikrokanäle (30) bildende Nuten (24) aufweist.

8. Mikrovermischer nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die keilförmige Platte auf beiden Keilflächen (21, 22) jeweils eine Bifurkationskaskade aufweist, wobei die an der Stirnseite der Platte mündenden Mikrokanäle (30) der letzten Bifurkationsstufe versetzt zueinander angeordnet sind.

9. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Nuten (24) jedes Zuführelementes (2) einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle (30) aufweisen und die in den aufeinanderliegenden Flächen befindlichen Nuten (24) sich zum Vollquerschnitt der Mikrokanäle ergänzen.

10. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt und/oder die Länge der Mikrokanäle (30) von Stufe $n - 1$ auf Stufe n zunimmt.

11. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die in die Mischkammer (5) mündenden Mikrokanäle (30) in Umfangs- oder axialer Richtung der Mischkammer (5) überlappen.

12. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Bifurkationskaskaden für jedes Fluid an einen gemeinsamen Zuführungskanal (4a, b) angeschlossen sind.

13. Mikrovermischer nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der gemeinsame Zuführungskanal (4a, b) in den Zuführelementen (2) angeordnet ist.

14. Mikrovermischer nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der gemeinsame Zuführungskanal (4a, b) in einem die Zuführelemente (2) umgebenden Gehäuse (1) angeordnet ist.

15. Statischer Mikrovermischer mit Zuführkammern für mindestens zwei zu vermischende Fluide, von denen Mikrokanäle zu einer Mischkammer führen, wobei die Mikrokanäle in mindestens zwei aufeinanderliegenden oder durch ein oder mehrere Zwischenelement(e) voneinander beabstandeten Zuführelementen angeordnet sind und wobei die Zuführelemente plane Platten sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführelemente (2) im mittleren Bereich eine kreisförmige

Durchbrechung (7) aufweisen, so daß die übereinandergestapelten Platten eine zylindrische Mischkammer (5) bilden, und daß die für jedes Fluid vorgesehenen Mikrokanäle (30) eine oder mehrere symmetrische, mindestens zwei Stufen i ($i = 1$ bis n mit $n \geq 2$) umfassende Bifurkationskaskaden bilden.

16. Mikrovermischer nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die planen Platten kreisringförmig ausgebildet sind.

17. Mikrovermischer nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge der Mikrokanäle (30) von Stufe i zu Stufe $i + 1$ abnimmt.

18. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Bifurkationskaskade selbstähnlich ist.

19. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine plane Platte (2) auf mindestens einer ihrer beiden Seiten (26, 27) Mikrokanäle (30) bildende Nuten (24) aufweist.

20. Mikrovermischer nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die plane Platte auf beiden Seiten (26, 27) jeweils mindestens eine Bifurkationskaskade aufweist, wobei die in die Durchbrechung (7) der Platte mündenden Mikrokanäle (30) der einen und der anderen Seite (26, 27) zueinander versetzt angeordnet sind.

21. Mikrovermischer nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Nuten (24) jedes Zuführelementes (2) einen Teilquerschnitt der Mikrokanäle (30) aufweisen und die in den aufeinanderliegenden Flächen (26, 27) befindlichen Nuten (24) sich zum Vollquerschnitt der Mikrokanäle (30) ergänzen.

22. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Bifurkationskaskaden jeweils an einem Zuführkanal (4a, b) angeschlossen sind, die in den Zuführelementen (2) angeordnet sind.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

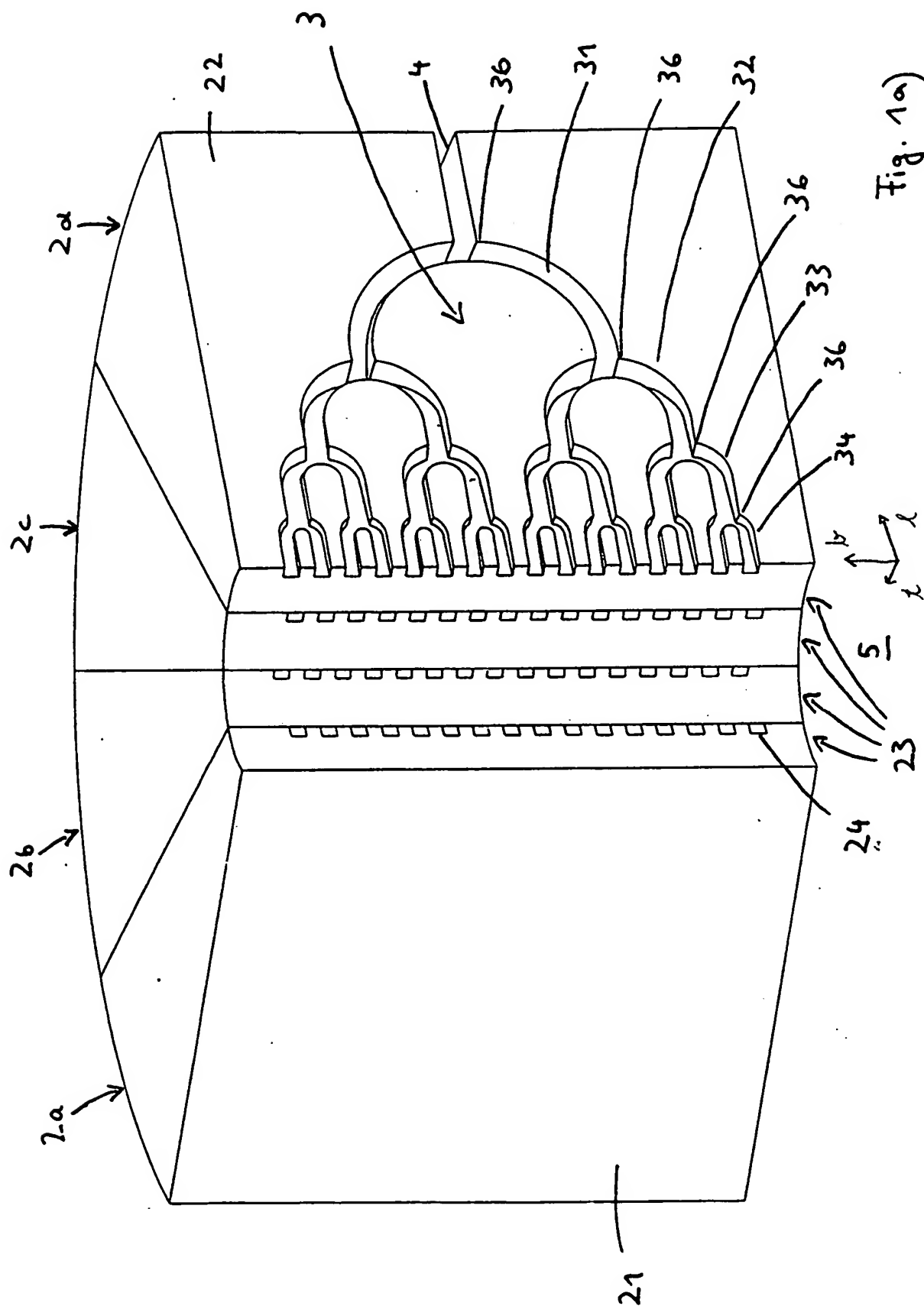


Fig. 1a)

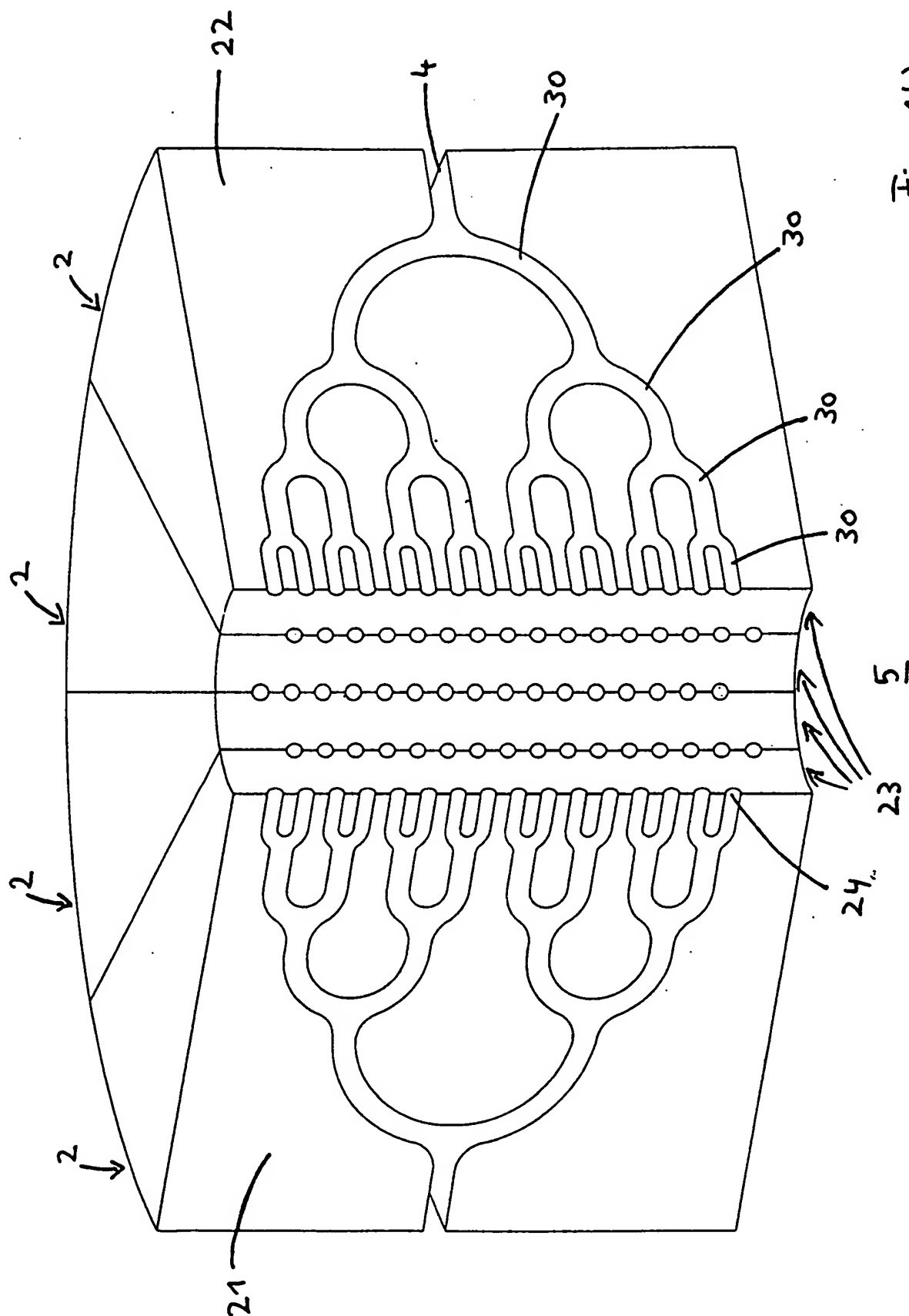
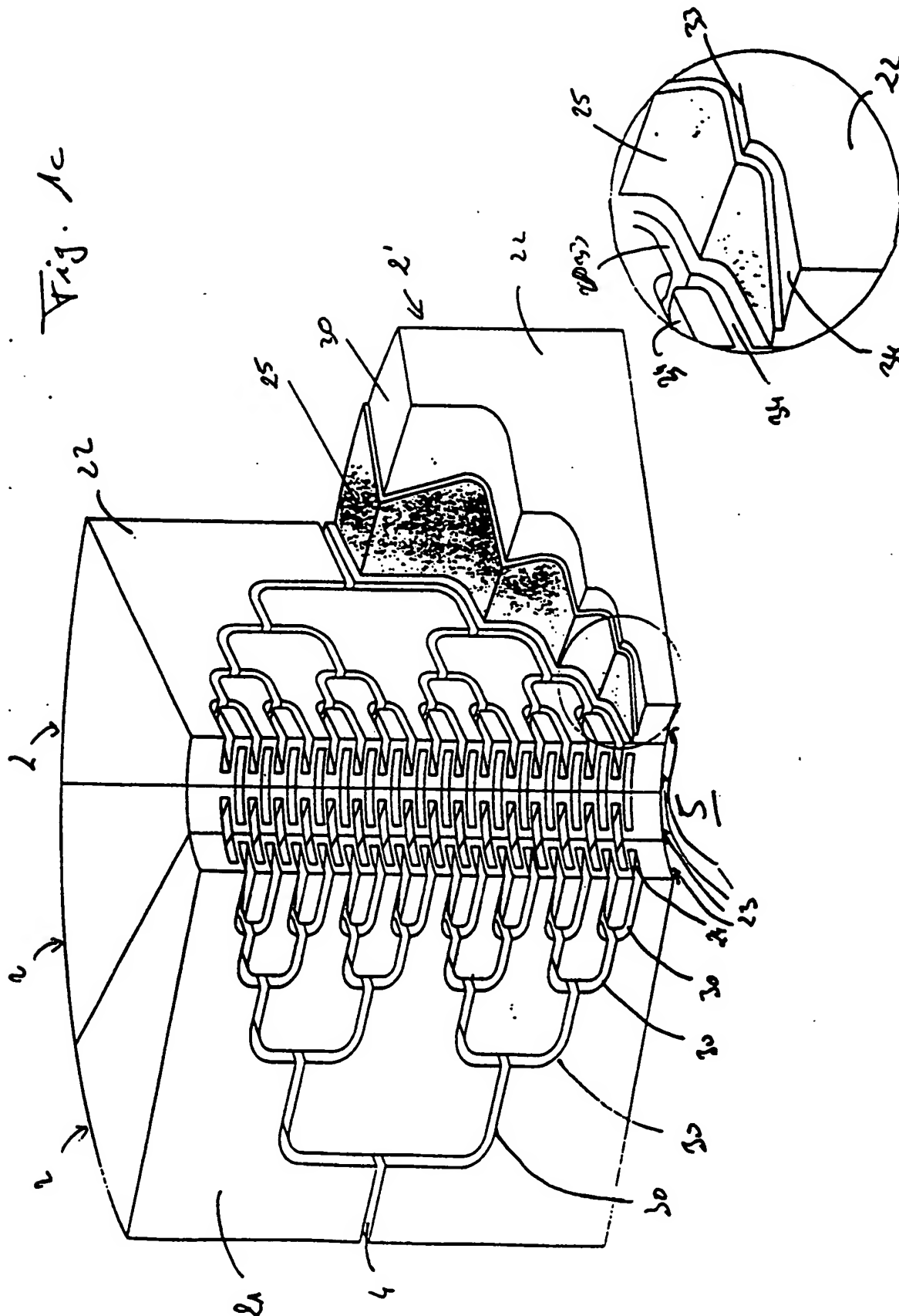


Fig. 16)

Fig. 1c



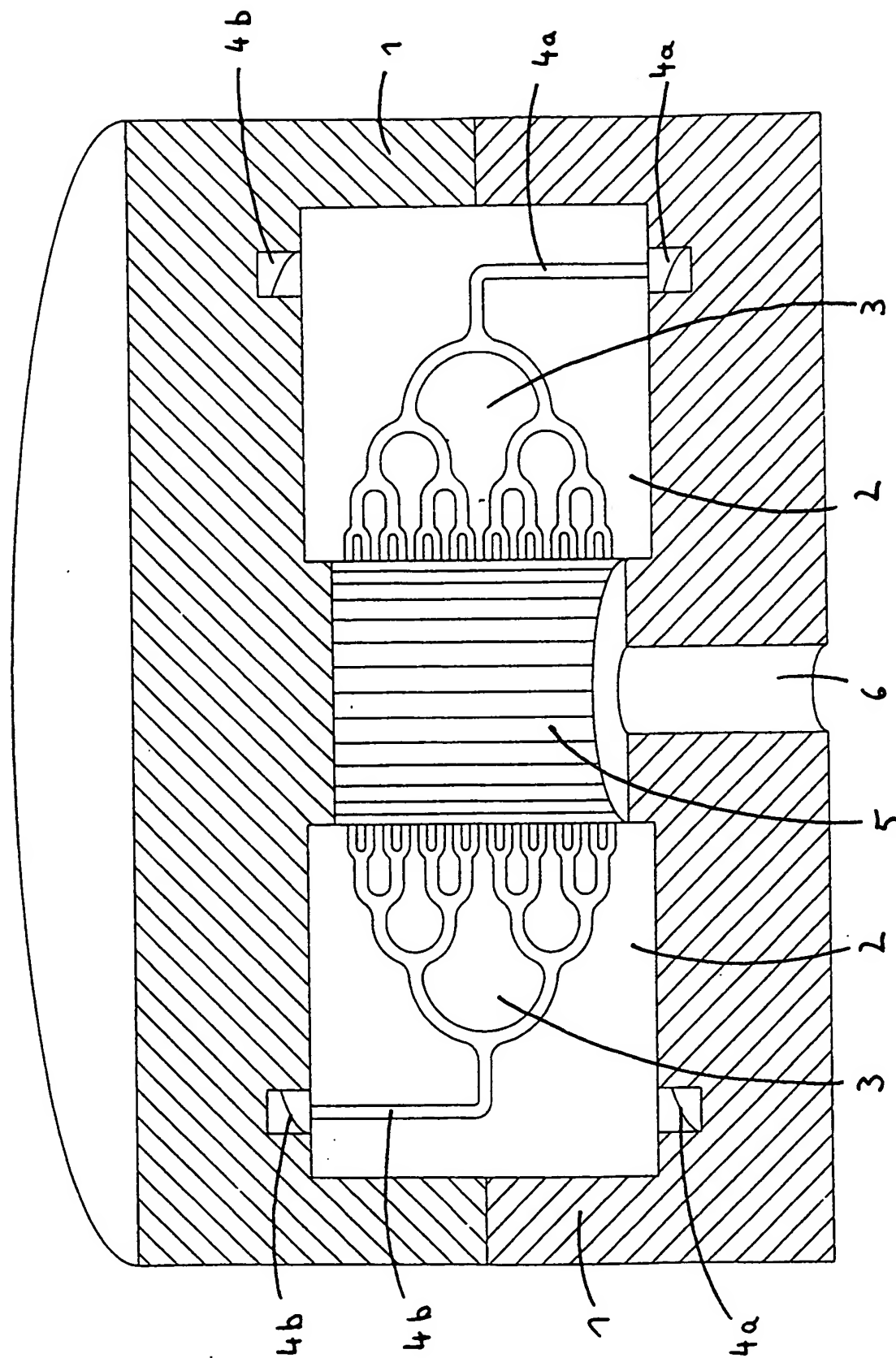


Fig. 2a)

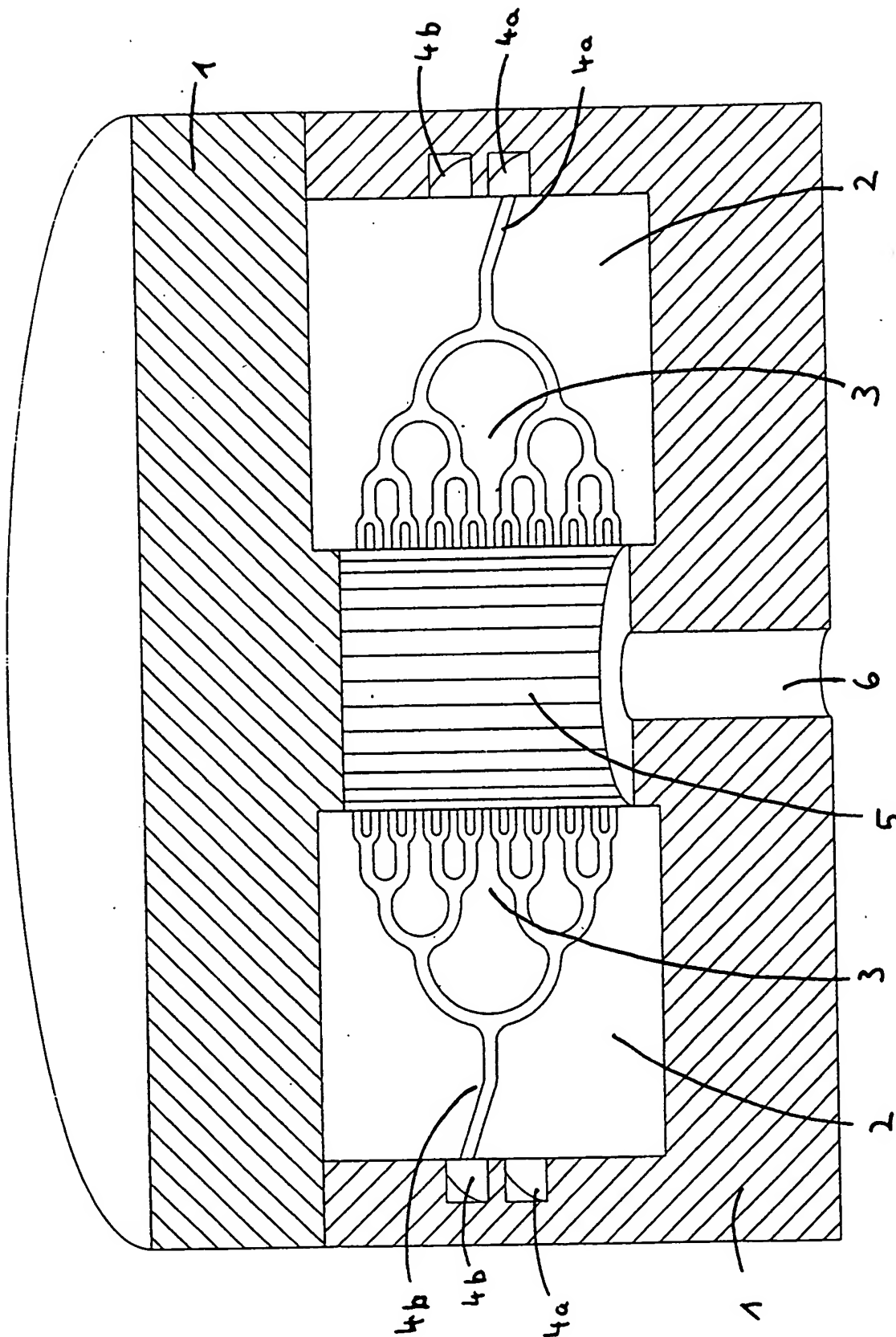


Fig. 2b)

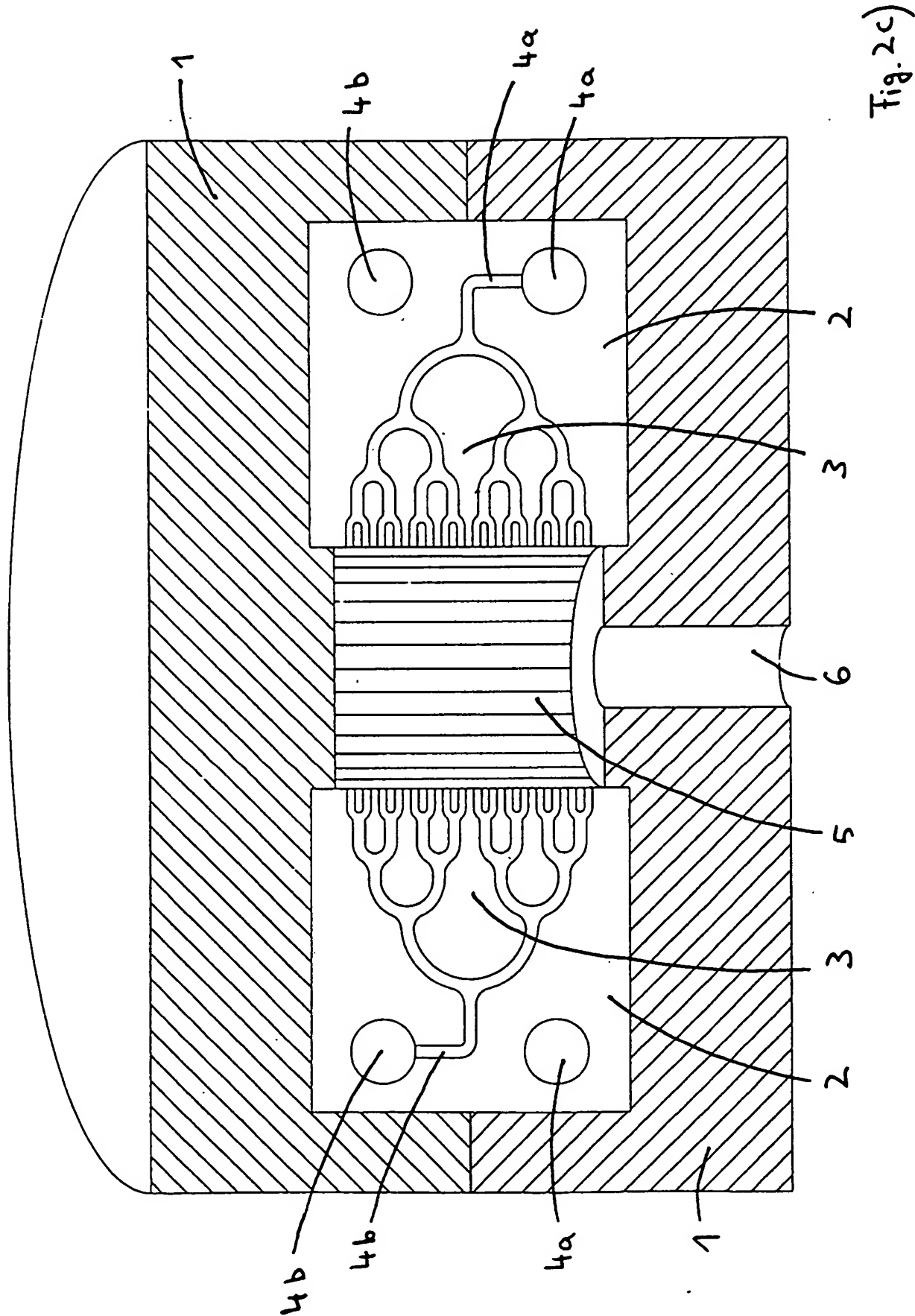


Fig. 2c)

Fig. 3a)

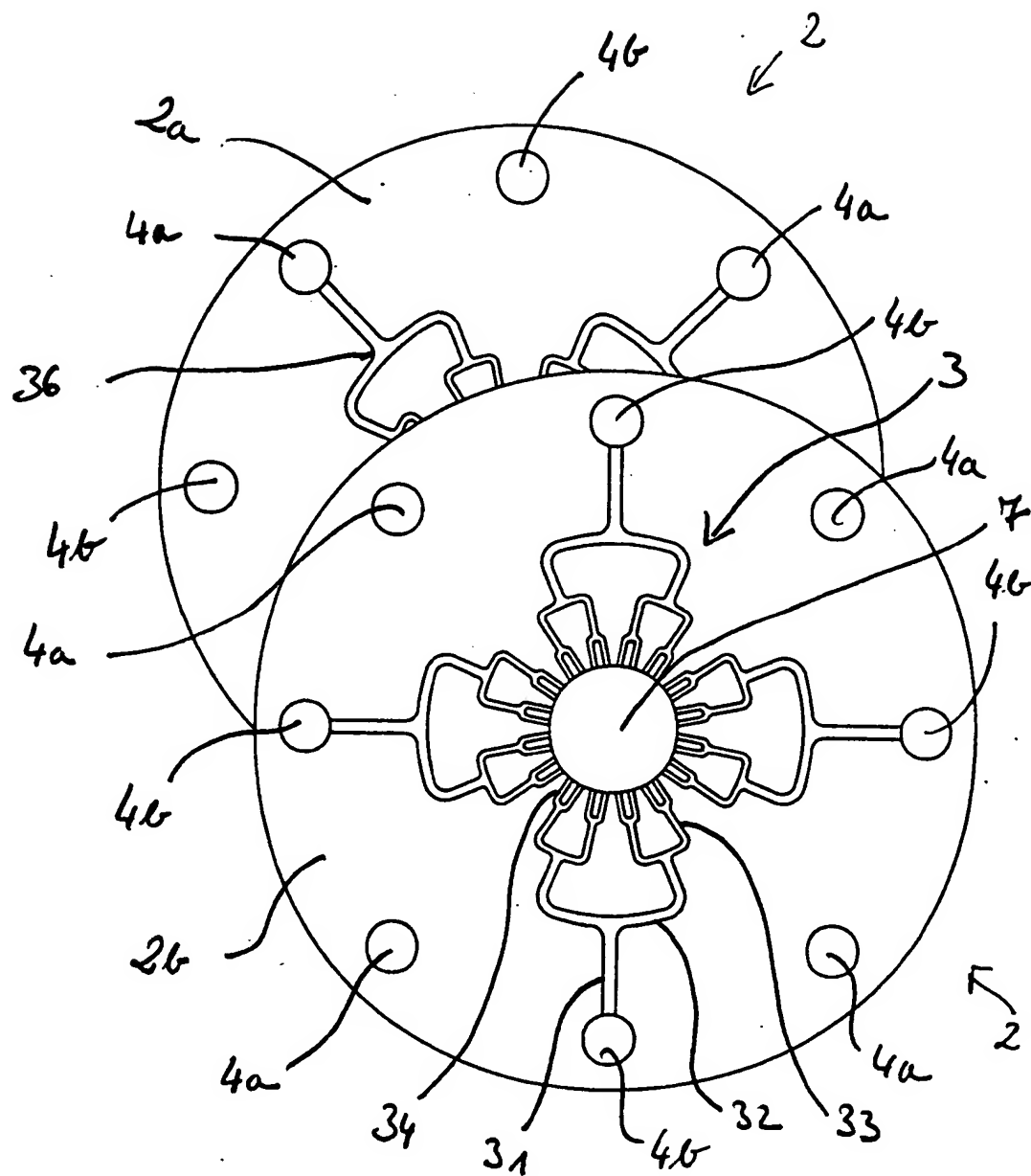


Fig. 3b)

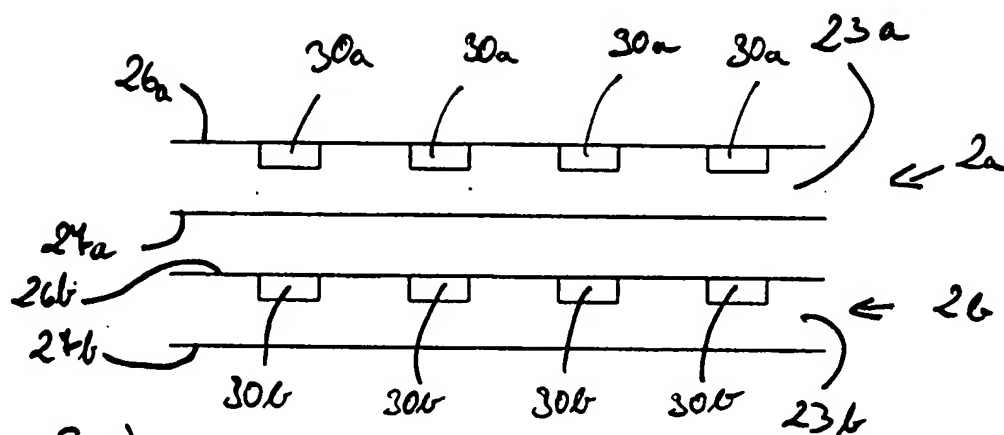


Fig. 3c)

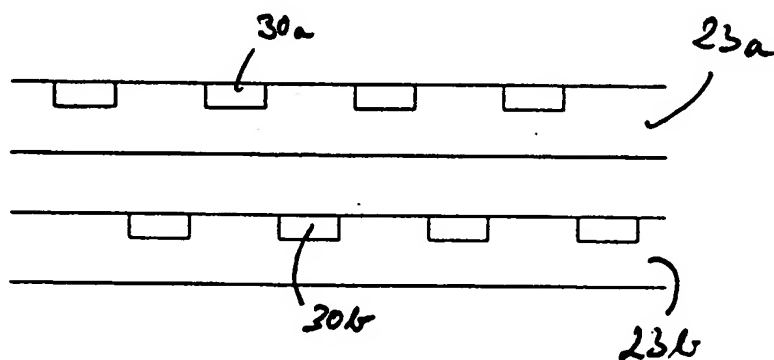
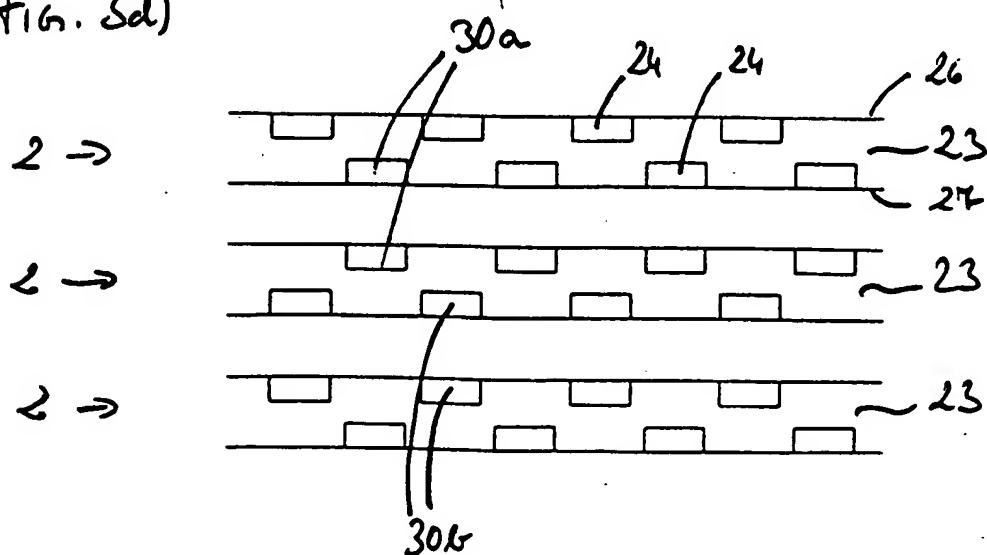


Fig. 3d)



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.